



燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定		4月					5月					6月					7月		8月		備考						
			24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	2	9	16	23	30	6	13	20	27									
RPV/PCV健全性維持		(実績) ○【研究開発】圧力容器/格納容器の腐食抑制技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器/格納容器の耐震性・影響評価手法の開発(継続) ○腐食抑制対策 ・窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施(継続) (予定) ○【研究開発】圧力容器/格納容器の腐食抑制技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器/格納容器の耐震性・影響評価手法の開発(継続) ○腐食抑制対策 ・窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施(継続)	検討・設計	【研究開発】圧力容器/格納容器の腐食抑制技術の開発					【研究開発】腐食抑制剤の選定					【研究開発】腐食抑制システムの概念設計・管理要領の策定																
			現場作業	腐食抑制対策(窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減)																										
炉心状況把握		(実績) 【炉心状況把握解析】 ○【研究開発】事故時プラント挙動の分析(継続) ○事故関連factデータベース構築(継続) ○【研究開発】炉内状況の総合的な分析・評価(継続) ○2号機ミュオン透過法による測定(継続) (予定) 【炉心状況把握解析】 ○【研究開発】事故時プラント挙動の分析(継続) ○事故関連factデータベース構築(継続) ○【研究開発】炉内状況の総合的な分析・評価(継続) ○2号機ミュオン透過法による測定(継続)	検討・設計	【研究開発】炉心状況把握解析					【研究開発】事故時プラント挙動の分析					事故関連factデータベース構築					【研究開発】炉内状況の総合的な分析・評価											
			現場作業	2号機 ミュオン透過法 測定/評価																										
取出後の燃料デブリ安定保管	燃料デブリ取り出し準備	(実績) ○【研究開発】燃料デブリ性状把握 ・収納/保管に資するデブリ特性の把握(継続) ・MCC1生成物の特性評価(継続) ・分析に必要な要素技術開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ性状把握 ・収納/保管に資するデブリ特性の把握(継続) ・MCC1生成物の特性評価(継続) ・分析に必要な要素技術開発(継続)	検討・設計	【研究開発】燃料デブリ性状把握 ・収納/保管に資するデブリ特性の把握 試験計画策定及び試材調達等					MCC1生成物の特性評価 試験計画の作成及び調整(CEA)					分析に必要な要素技術開発 計画策定及び試材調達等					乾燥挙動評価試験		粉化挙動評価試験		試験準備		デブリ化学分析の検討試験					
			現場作業	測定終了時期は検討中																										
燃料デブリ臨界管理技術の開発		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 ・臨界評価(継続) ・炉内の再臨界検知技術の開発(継続) ・臨界防止技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 ・臨界評価(継続) ・炉内の再臨界検知技術の開発(継続) ・臨界防止技術の開発(継続)	検討・設計	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 臨界評価 ・臨界評価(最新知見の反映、複数工法を考慮した臨界シナリオの見直し) ・臨界時挙動評価(PCV上部水張り時に必要な機能整備、PCV水張り時挙動評価の精緻化、燃料デブリ取出し時に必要な機能検討) ・臨界管理手法の策定(臨界管理の考え方整理、燃料デブリ取出し時臨界管理手法の策定、臨界誘因事象の整理・対策検討)					炉内の再臨界検知技術の開発 ・再臨界検知システム(複数工法への適用検討、未臨界度推定アルゴリズムの実証試験方法検討) ・臨界近接検知システム(臨界近接検知手法の選定、システム仕様策定、適用性確認試験方法計画・準備、デブリ取出し作業への適用性検討)					臨界防止技術の開発 ・非溶解性中性子吸収材(候補材の耐放射線試験、核的特性確認試験準備、投入時均一性担保のための適用工法検討、必要投入量評価) ・溶解性中性子吸収材(水張り前のボウ酸水置換方法検討、ボウ酸水適用時の水質管理方法の検討)																
			現場作業																											
燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 燃料デブリ収納缶の要求事項の洗い出し・抽出(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 燃料デブリ収納缶の仕様、安全評価に関わる検討(継続)	検討・設計	燃料デブリ収納缶取扱いプロセス(取出し～保管)における課題抽出・整理																										
			現場作業	内部構造、安全評価手法検討																										

# 福島第一原子力発電所 2号機 ミュオン測定による炉内燃料デブリ位置把握の 進捗状況について(途中経過)

2016年5月26日

東京電力ホールディングス株式会社

---



## IRID

本資料の内容は、技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）の事業の一環として、東京電力が実施するものである。

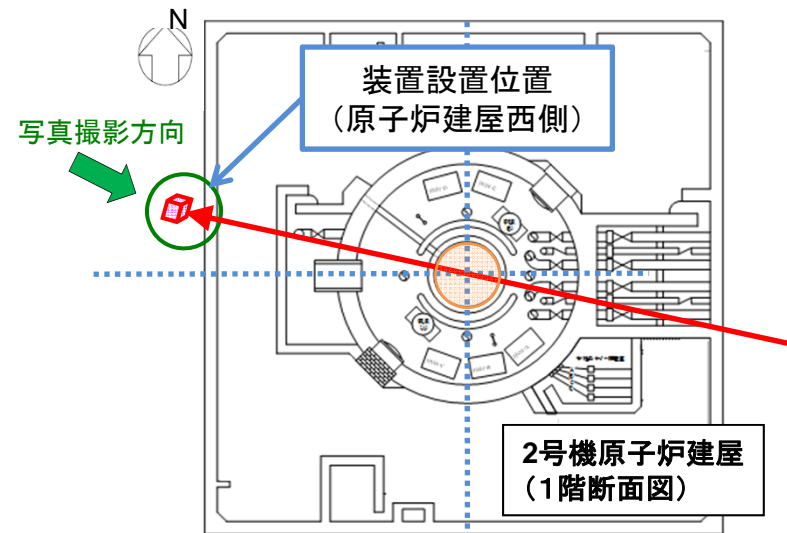
# TEPCO

## 概要

- 平成25年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金「原子炉内燃料デブリ検知技術の開発」（国プロ）にて，原子炉を通過する宇宙線ミュオンの測定により，炉内燃料デブリを検知する技術を開発。
- 平成27年2月～9月に1号機でミュオン透過法の測定を実施。炉心域に1 m程度以上の大きな燃料の塊がないという結果を得た。
- 2号機においても，平成28年3月22日より，ミュオン透過法の測定を開始しており，その途中経過を報告する。



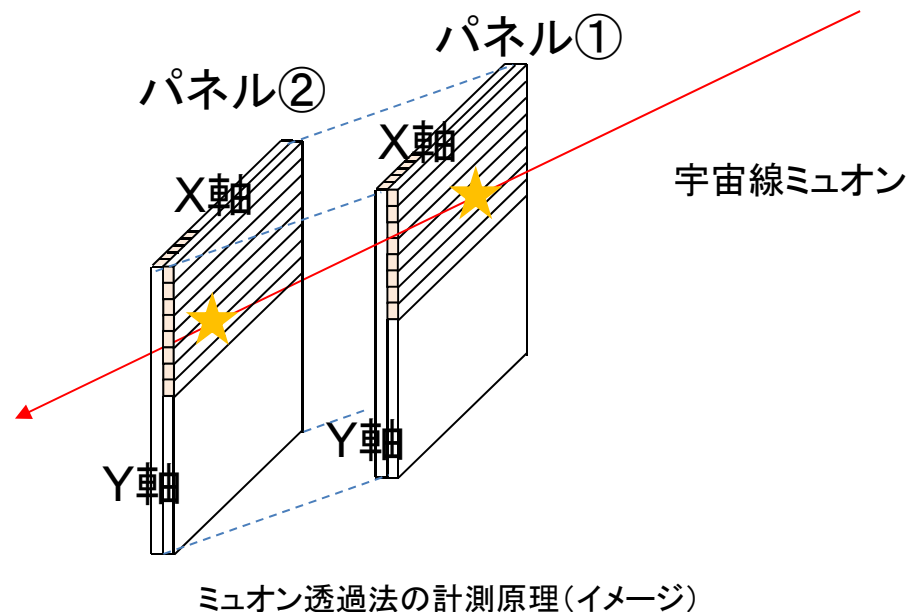
ミュオン測定装置設置（小型装置，約1m×1m×高さ1.3m）



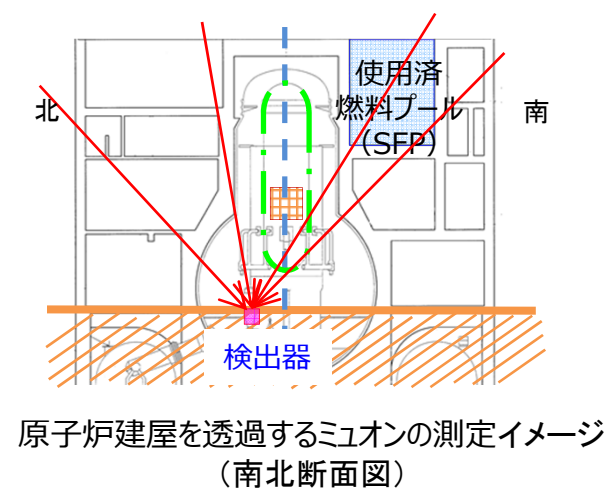
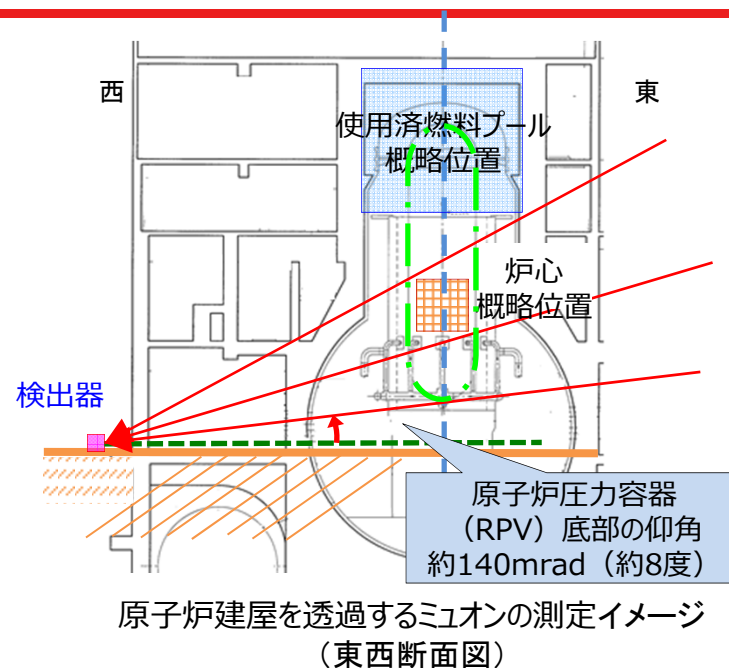
ミュオン測定装置 設置位置

## 2号機 ミュオン透過法測定

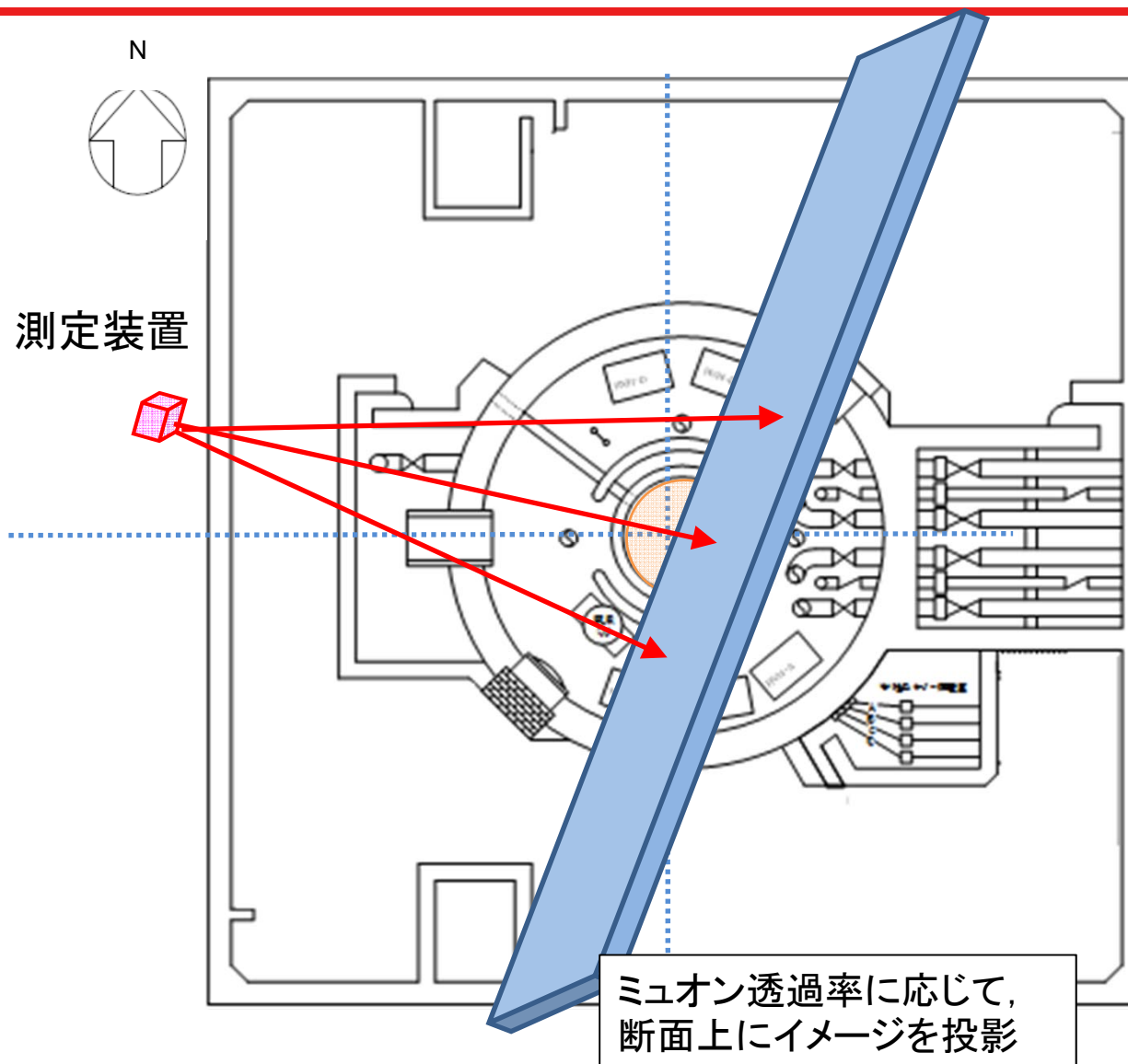
- ミュオン透過法の計測原理は、飛来するミュオンを検出器内の2枚のパネルで検知し、通過したパネルの座標からミュオンの軌跡を算出。



- 2号機の原子炉建屋を透過するミュオン数を測定し、ミュオンの透過率から炉心部や原子炉压力容器底部の燃料デブリを撮影する。



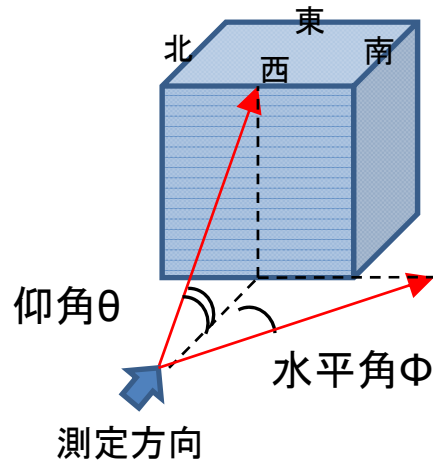
## ミュオン透過法測定によって得られる画像(イメージ)



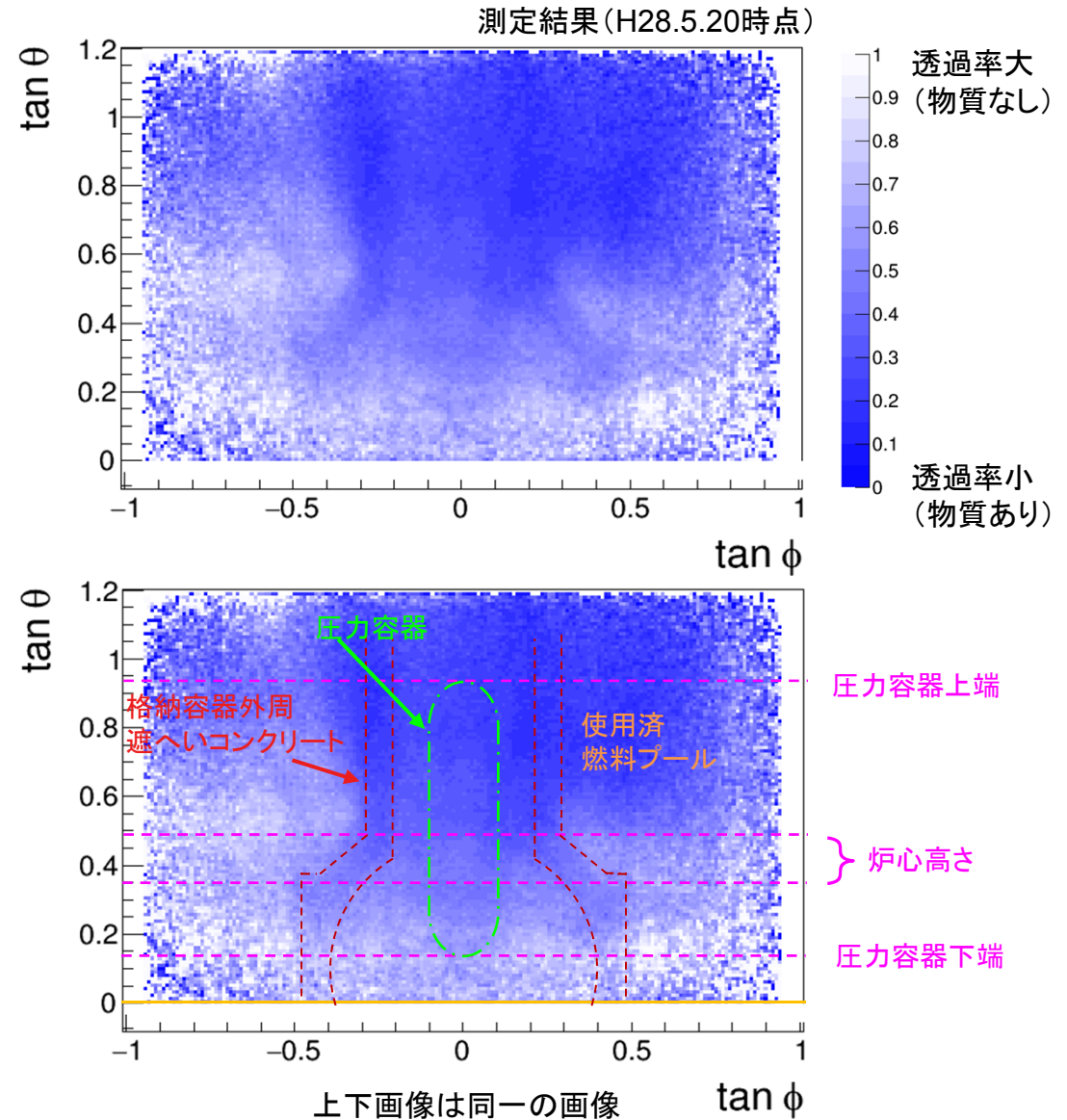




## ミュオン透過率の評価

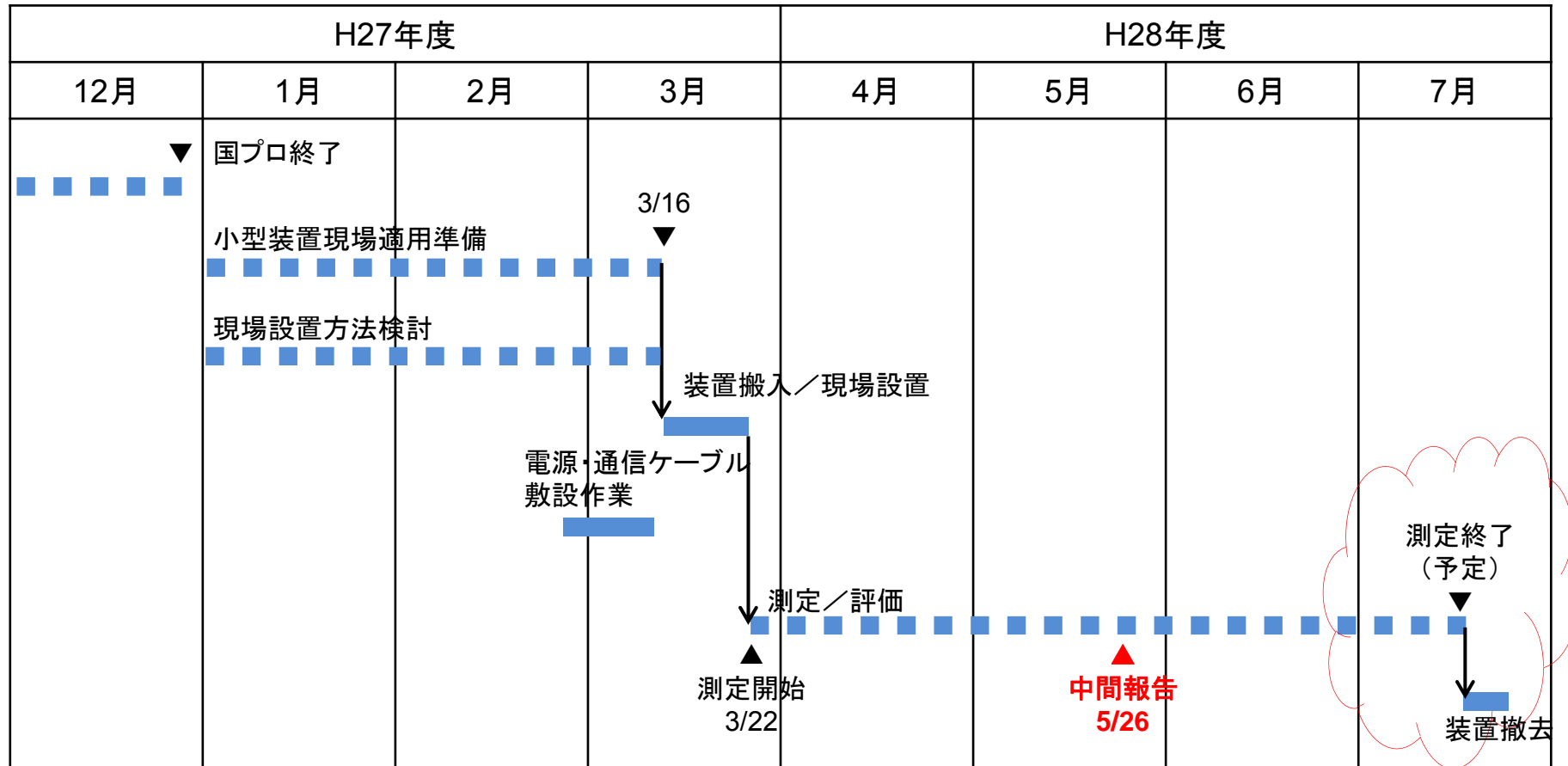


- 得られた測定データからミュオンの透過率を評価。
  - 透過率大 = 物質が存在しない
  - 透過率小 = 物質が存在する (影が見える)
- 格納容器外周の遮へいコンクリートや使用済み燃料プールなどの構造体の影を確認。順調にデータを得られている。
- 今後、測定の継続によりデータを蓄積し、データの検証・整理を継続する。





## 概略工程



調整中

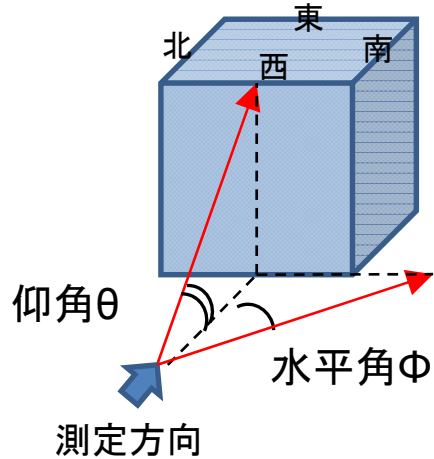
TEPCO

## まとめ

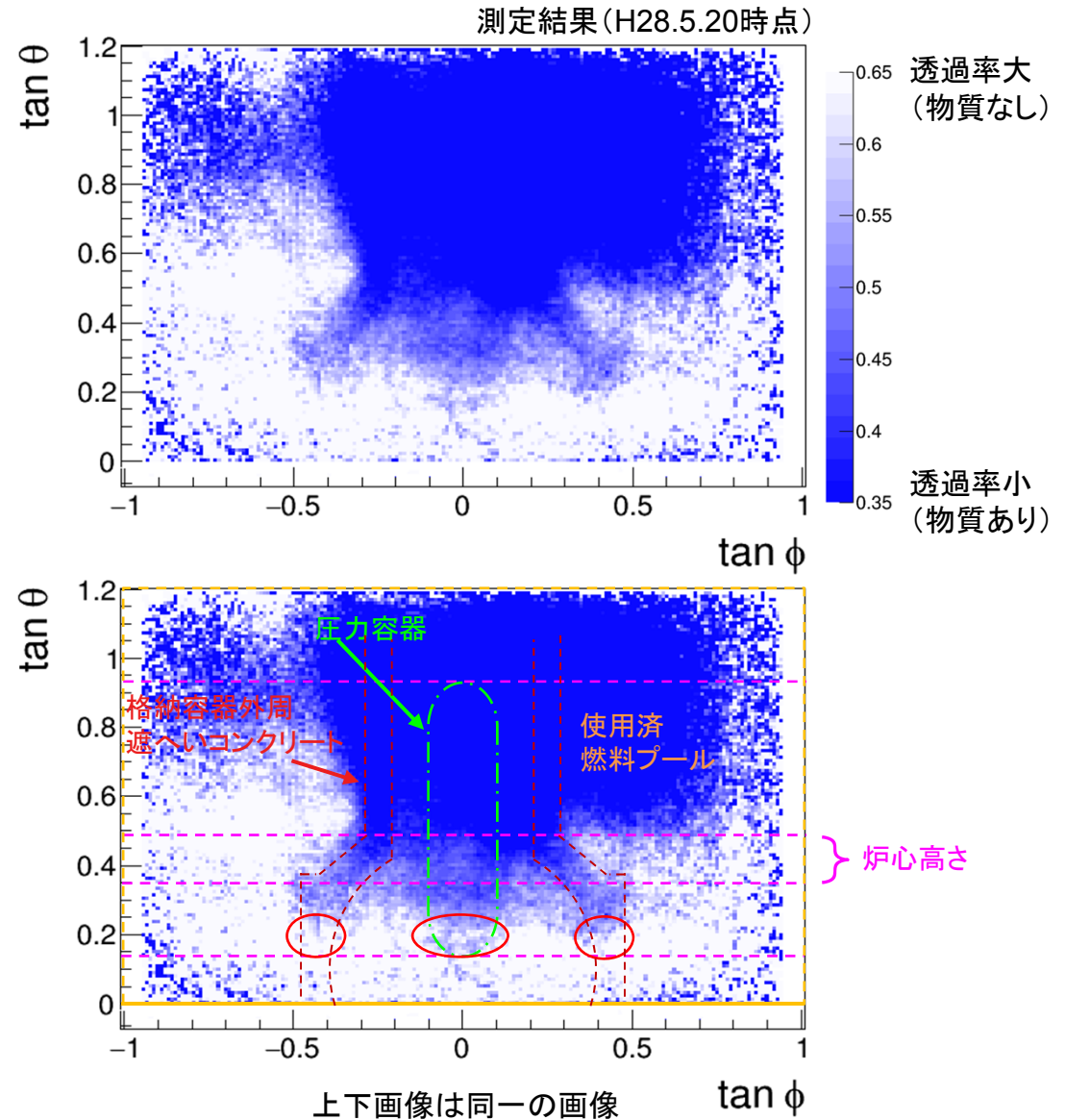
---

- 2号機のミュオン透過法測定では、主要な構造体の影が確認できており、順調にデータを得られている。
  - 格納容器外周の遮へいコンクリートの影を確認。
  - 使用済燃料プールの位置に影を確認。
  - 原子炉圧力容器底部についても測定範囲に入っていることを確認。
  
- 今後、測定の継続によりデータを蓄積するとともに、データの検証・整理を継続する。
  
- 測定は順調に進捗しており、ミュオン透過法の有効性を再確認したことから、他号機を含めた今後のミュオン測定の計画立案についても検討していく。

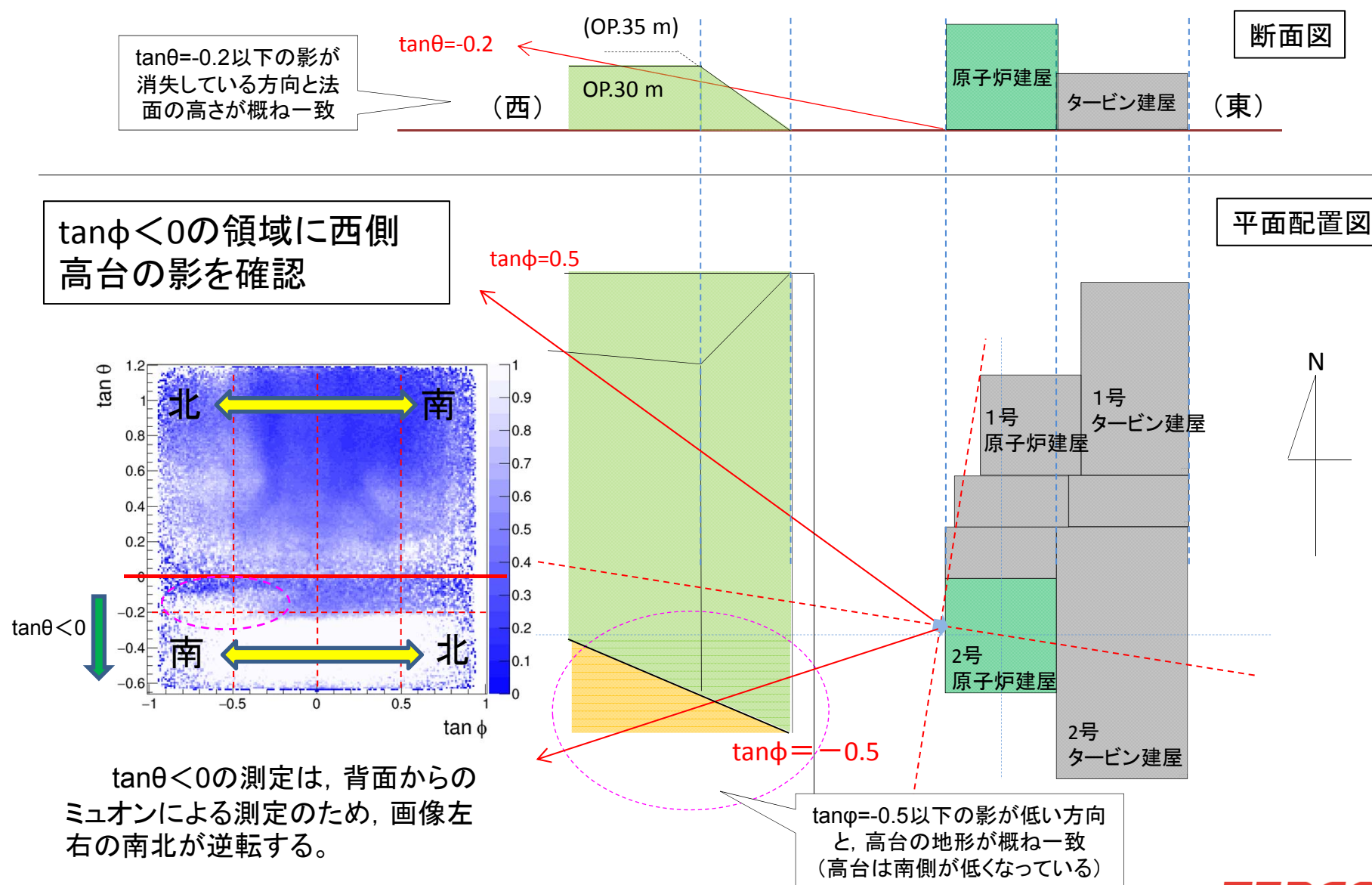
## (参考)測定結果の評価 ～ ミュオン透過率の評価(2)



- 得られた画像をより鮮明に解釈するため、画像のコントラストを調整。(透過率0.35～0.65でカットオフ)

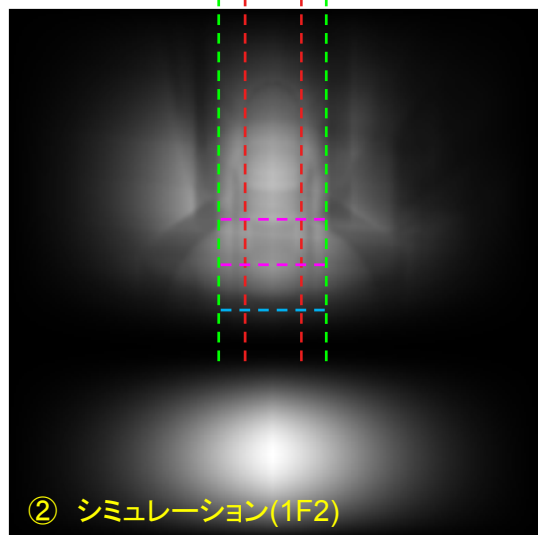
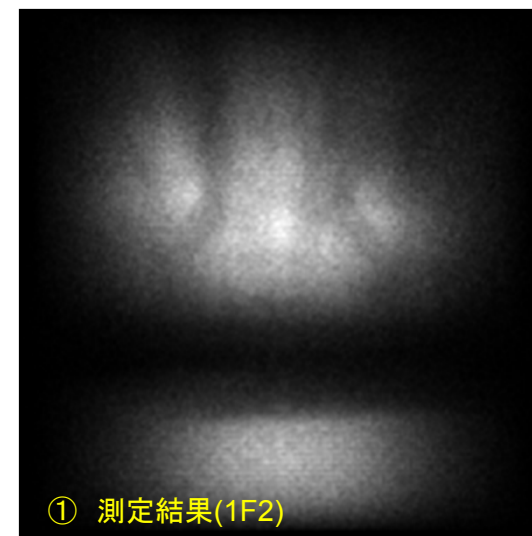
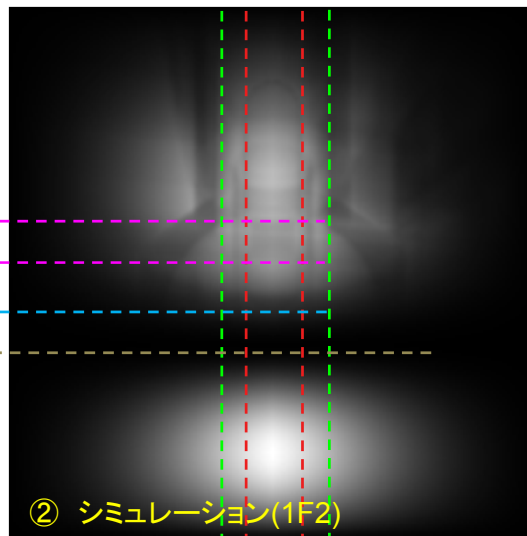
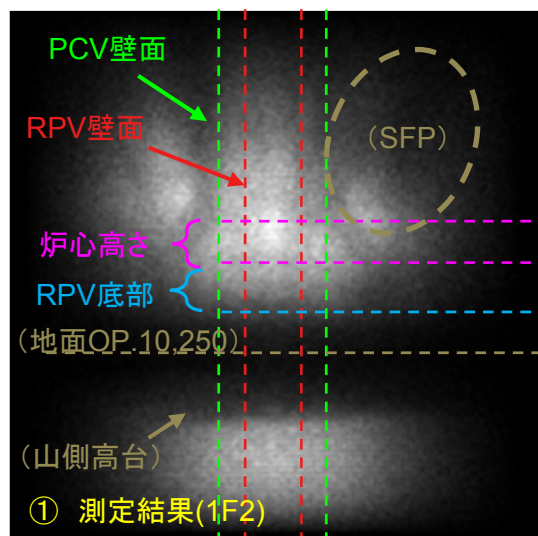


## (参考) 西側高台の影について



## (参考)測定結果(補正 前)

測定結果(H28.5.20時点)

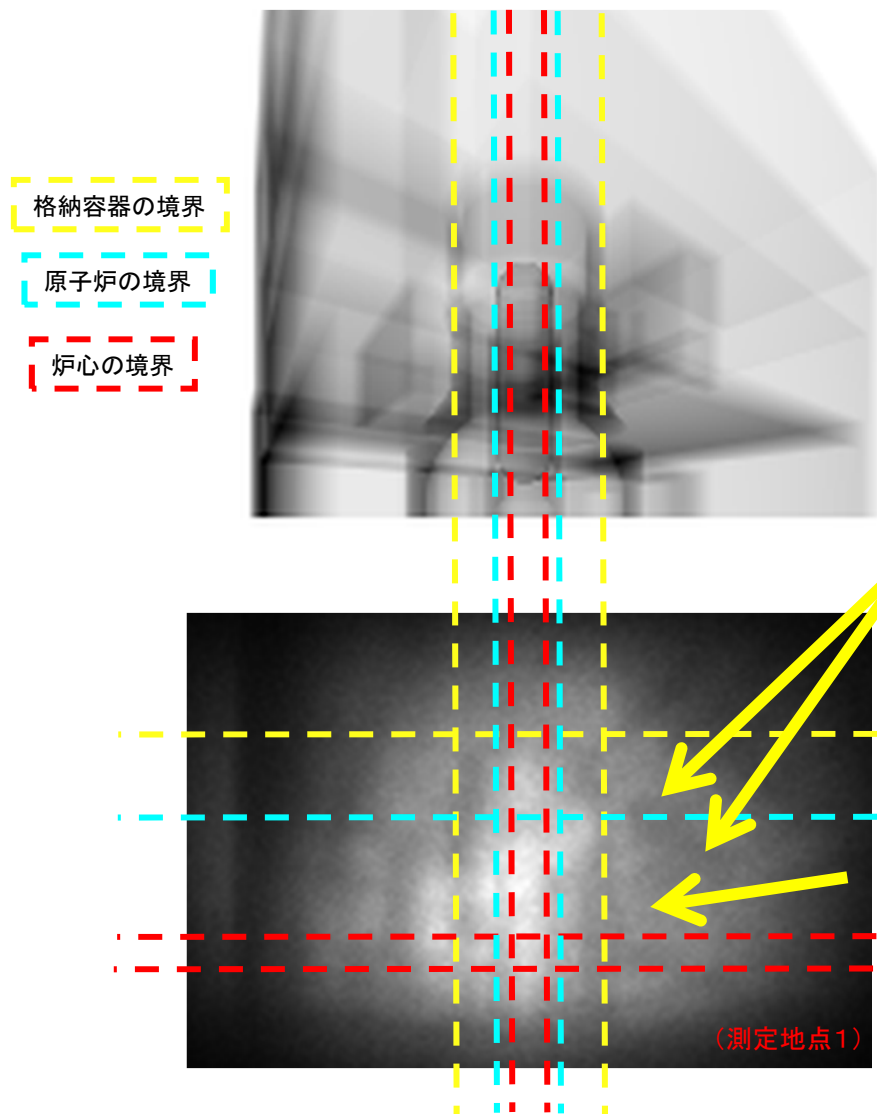


アクセプタンス・フラックス補正  
 ミュオン透過法装置は、中心部が明るく、外周が暗く写る特性がある(右図)。ミュオン透過率の評価では、これを平坦に規格化(補正)している。

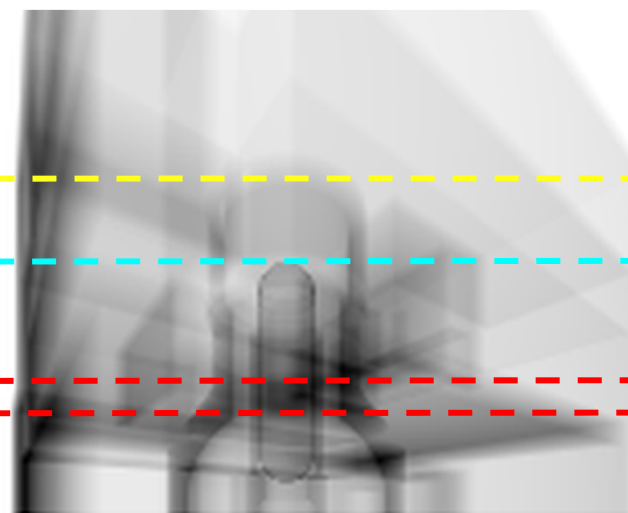




## (参考) 1号機 ミュオン透過法測定の実績



- 鮮明ではないが、測定データでは、図面から予想される位置に機器等を確認
- 格納容器・原子炉の境界も一致
- 炉心域に1 m程度以上の大きな燃料の塊がないという結果を得た  
(使用済燃料プールには燃料と思われる高密度物質の存在を確認)



**3号機 原子炉建屋1階  
高所除染装置（ドライアイスプラスト装置）  
実機検証結果について**

2016年5月26日

東京電力ホールディングス株式会社

**TEPCO**

**IRID**

本資料の内容においては、技術研究組合国際廃炉研究開発機構(IRID)の成果を活用しております。

## 1-1. これまでの線量低減の経緯

- 建屋内除染については、線源分布および線量率分布の測定結果に基づき、低所(0～1.5m高さ)、中所(1.5～4m高さ)、高所(4～8m高さ)に分けて除染を実施することを計画した。低所・中所については先に着手済み、高所は既存技術がないため、国プロの高所除染装置の開発後に除染作業を行う計画とした。
- 高所除染装置の除染対象は、主な線源をCs、形態は遊離性と固着性を考慮し、高圧水(遊離性)、ドライアイスブラスト(遊離性/固着性)、スチールブラスト(固着性)の各除染装置の開発をした。

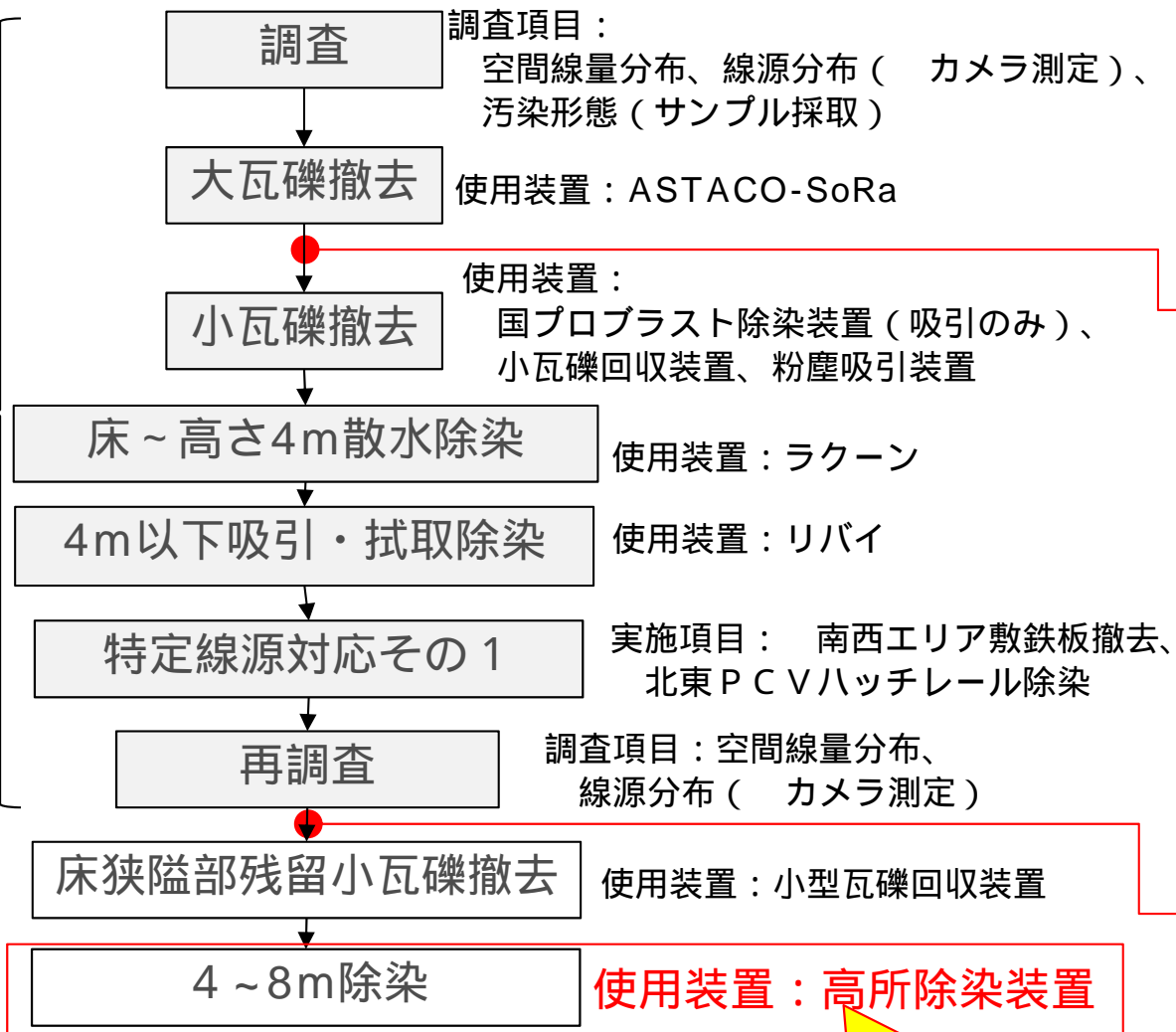
## 1-2. 実証目的について

- 高所の除染計画を行うにあたり、国P Jで開発した装置の基本性能を確認すること。  
(DF<sup>1</sup>評価値(除染前後の線量率で評価)5を目標)
  - 1: Decontamination Factor (除染係数)の略
  - DF=(除染前表面汚染密度)/(除染後の表面汚染密度)
- 現場の除染前後のデータを採取すること。
- 現場実証は、高所除染装置のうち、準備が整ったドライアイスブラスト除染装置の現場実証を実施。

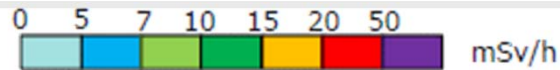
# 1-3. 3号機原子炉建屋1階線量低減の流れと高所除染装置実証の位置づけ

## 3号機原子炉建屋1階線量低減の流れ

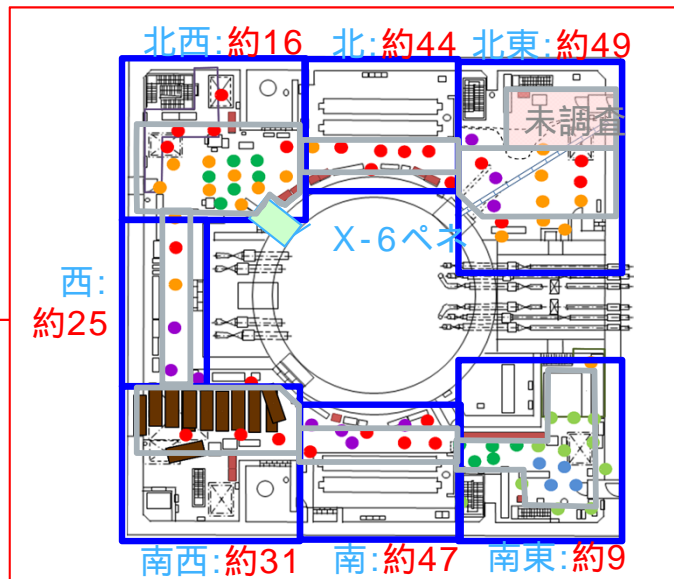
実施済み



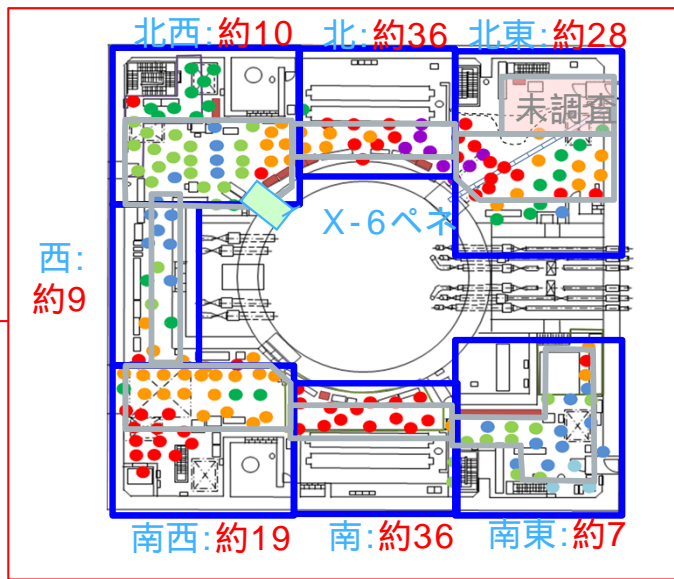
今回現場実証にて装置の基本性能を確認



線量低減前  
線量率分布



現状  
線量率分布



3号機原子炉建屋1階線量率分布



# 1-4 . 高所用ドライアイスブラスト除染装置の概要

## 【高所用ドライアイスブラスト除染装置の概要】



走行時の状態

作業ユニット

昇降装置

走行台車



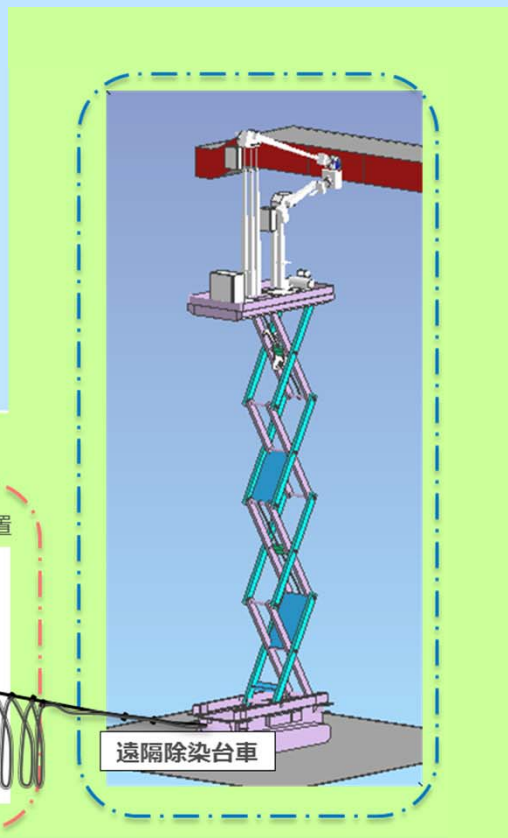
高所作業時の状態

## 【装置仕様】

寸法：2069mm（全長）  
930mm（全幅）  
1961mm（全高）

重量：約1700kg

最高到達高さ：約8000mm



遠隔除染台車

## 【除染用ノズルの種類】



上面吸引ノズル



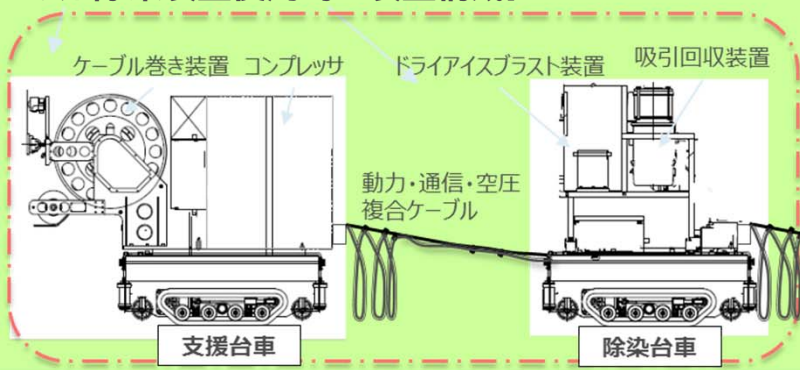
局部吸引ノズル



壁面ドライアイスブラストノズル

## 【高所用ドライアイスブラスト除染装置使用時の装置構成】

高所用ドライアイス  
ブラスト除染装置  
の後に低所用ドライ  
アイスブラスト除  
染装置を接続した  
構成で使用する。



支援台車

除染台車

# 2-1. 高所除染装置実証試験概要

## ◆ 実証箇所の選定

原子炉建屋1階は現在も線量低減実施中であり、実証試験も線量低減の一環として行った。そのため、実証後の作業被ばく低減につながるよう、機器搬入口が有り作業員アクセスの多い南西において、除染による空間線量率の減少が期待できる、表面汚染が多い(線源はCs134,137を想定しβ線量を指標とした)エリアを選定して実証を行った。

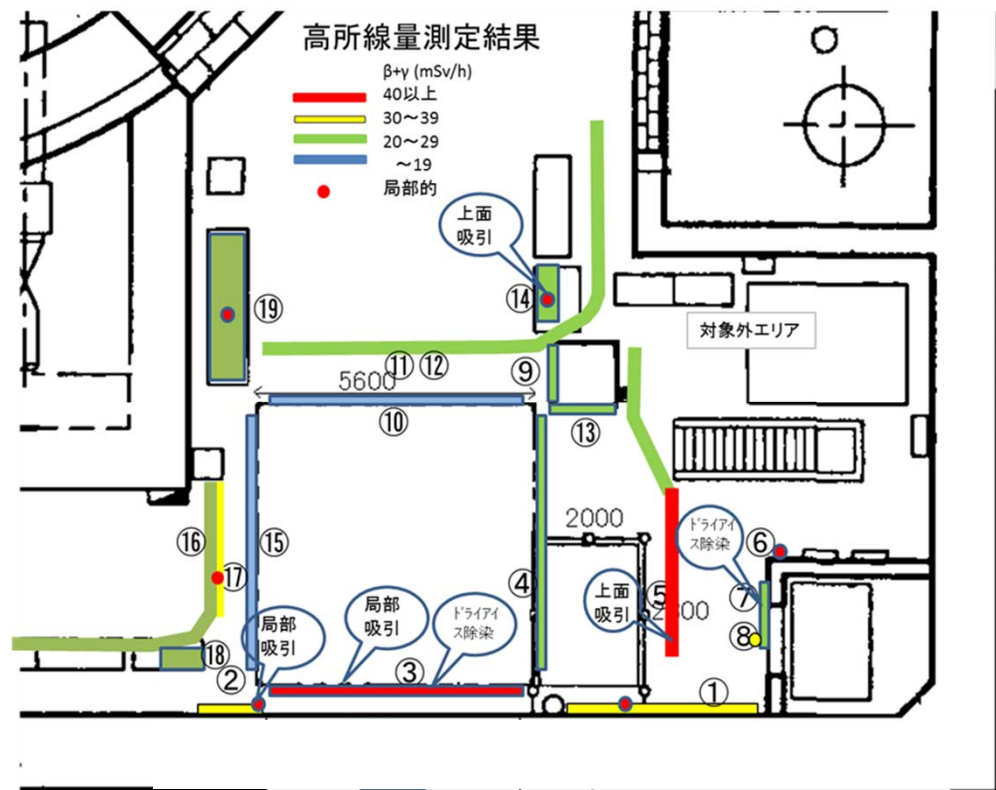
### ● 表面汚染が多いエリアの選定方法

1. γカメラ測定で線源強度の高い19エリアを選定
2. 19エリアのβ線量率を測定し、値の高い6エリアに絞り込み

### ● 実証試験対象エリア

- ・ 上面吸引: 南側ケーブルトレイ 南東側MCC盤上面
- ・ 壁面吸引: 搬入口北西側壁面 搬入口上部壁面
- ・ ドライアイスブラスト除染: エレベータホール壁面
- ・ 吸引 + ドライアイスブラスト除染: 搬入口上部壁面

エリアNo	場所	エリアNo	場所
エリア	搬入口南西側壁面	エリア	東側ケーブルトレイ
エリア	搬入口北西側壁面	エリア	東側RHR遮へい体
エリア	搬入口上部開口部西側壁面	エリア	西側柱
エリア	搬入口上部開口部南側壁面	エリア	南東側MCC盤
エリア	南側ケーブルトレイ	エリア	搬入口上部開口部北側壁面
エリア	南側電気機器	エリア	北側ケーブルトレイ
エリア	エレベータ上部壁面	エリア	北側RHR遮へい体
エリア	電線管コンクリート部	エリア	西側計装ラック
エリア	北側柱	エリア	北側MCC盤
エリア	搬入口上部開口部東側壁面		



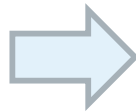
3号機原子炉建屋1階南西  
カメラ測定結果から選定した線量率測定対象箇所

## 2-2. 吸引除染の除染効果( ケーブルトレイ上面の例)

ケーブルトレイ上面に堆積している遊離性汚染の吸引を実施。DF評価値(除染前後のβ線量率で評価)：  
 1.3(A-1)(除去率26%)、1.4(A-2)(除去率28%)、1.5(B-1)(除去率32%)、2(B-2)(除去率50%)

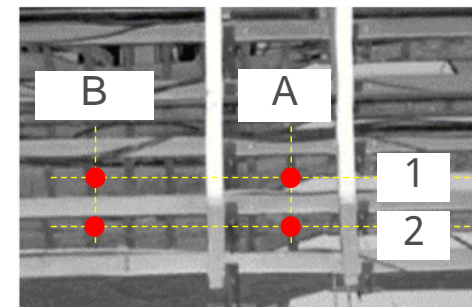


除染前



除染後

吸引除染前後の状況(B-2)



測定ポイント



B-1の内部状況

吸引除染前後の線量率の変化

ポイント	+ 線量率( 線量率) (mSv/h)		線量率(mSv/h):参考	
	除染前	吸引除染後	除染前	吸引除染後
A-1	58(35)	49(26)	22.8	22.8
A-2	55(32)	43(23)	22.6	19.8
B-1	52(28)	42(19)	24.3	23.0
B-2	50(28)	34(14)	22.3	20.0



## 2-3 吸引除染の除染効果( 南東側MCC盤上面の例)

除染後の写真を見ると盤上面のほこりを部分的に吸引したものの、線量率測定結果では効果が見られなかった。

盤上面が変形しており、吸引できたのが、凸部に限定されたのが要因と考えられる。

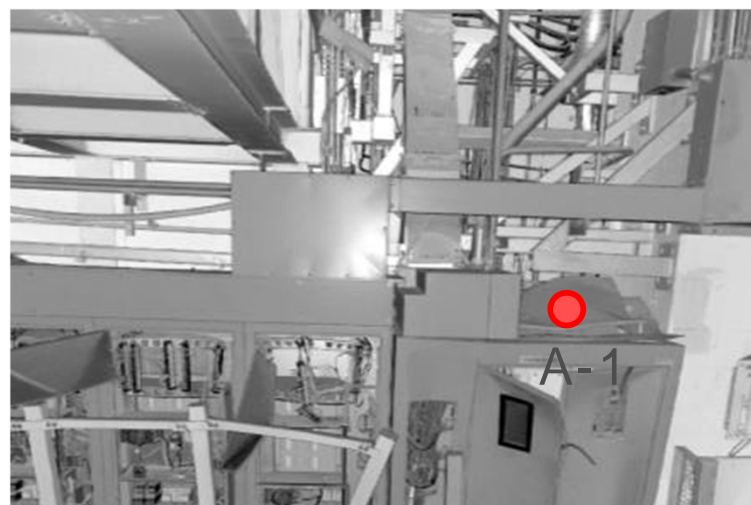


除染前

吸引箇所



除染後



測定ポイント

吸引除染前後の線量率の変化

ポイント	+ 線量率( 線量率) (mSv/h)		γ線量率(mSv/h) : 参考	
	除染前	除染後	除染前	除染後
A-1	40(21)	44(24)	19.2	20.0

## 2-4 吸引除染の除染効果 ( 搬入口北西側壁面の例 )

A-2の電線管に付着していたほこりを局部吸引ノズルで吸引することで、一定の効果が見られた。

DF評価値(除染前後のβ線量率で評価) : 2.1(除去率53%)

A-1は、(搬入口扉枠上部)の残留汚染の影響により、A-2に比較して効果は低かった。

DF評価値(除染前後のβ線量率で評価) : 1.5(除去率36%)

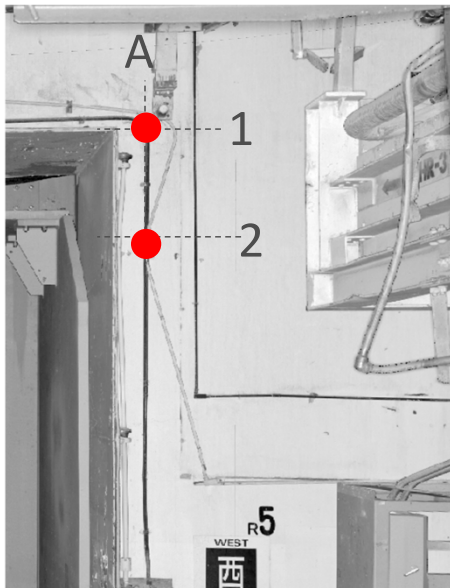


A-1の状況



A-2の状況

電線管



測定ポイント

吸引除染前後の線量率の変化

ポイント	+ 線量率( 線量率) (mSv/h)		γ線量率(mSv/h) : 参考	
	除染前	除染後	除染前	除染後
A-1	73(61)	52(40)	11.7	12.3
A-2	45(34)	27(16)	10.3	11.2



## 2-5 吸引除染の除染効果 ( 搬入口上部の例 )

B-1,C-1の電線管上部の堆積ほこりの吸引作業においては、一定の除染効果が見られた。

DF評価値(除染前後のβ線量率で評価) : 1.4 ~ 1.9 (除去率30 ~ 47%)

A-2,B-2,C-2の部分は、コンクリート粉やコンクリート片が溜まっており、これらを除去することで、大きな効果が期待できたが、準備した局部吸引ノズルだけでは、比較的大き目のガレキが吸引回収できなかつたことから、効果は限定的であった。



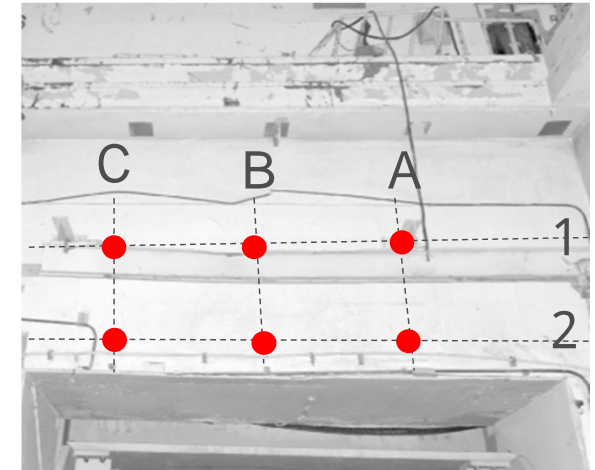
残留したガレキ

### B-2 付近の吸引作業状況

局部吸引ノズルでの吸引作業中にガレキによる吸引ホースの閉塞が発生。このため、局部吸引ノズルの開口部にメッシュを取付け、ホースの閉塞防止を図った。これにより、少し大き目のガレキは残留しており、対策が必要である。(検討中)



A-1 付近の電線管



測定ポイント

### 吸引除染前後の線量率の変化

ポイント	+ 線量率( 線量率) (mSv/h)		γ線量率(mSv/h) : 参考	
	除染前	除染後	除染前	除染後
A-1	41(31)	44(33)	10.2	11.3
A-2	52(40)	34(22)	12.0	12.0
B-1	55(45)	34(24)	10.5	10.0
B-2	52(38)	57(45)	13.9	12.3
C-1	56(46)	42(32)	9.7	10.2
C-2	57(45)	38(26)	12.0	12.1

## 2-6. ドライアイスブラスト除染の除染効果( エレベータホール上部壁面)

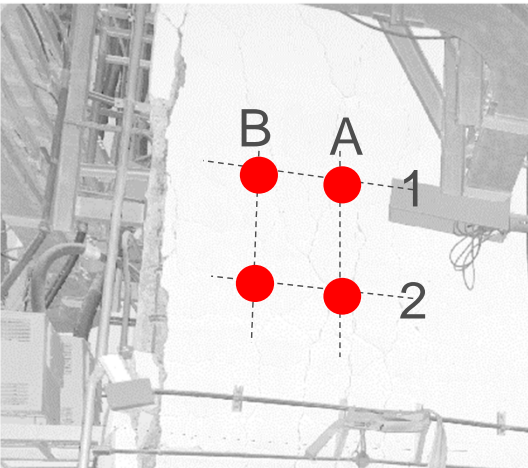
DF評価値(除染前後の 線量率で評価):1~1.6(ドライアイス) (除去率0%~36%)  
 除染効果にばらつきが見られ、壁面のひび割れ部に残留する汚染の影響が考えられる。



ドライアイスブラスト除染状況



壁面のひび割れ状況



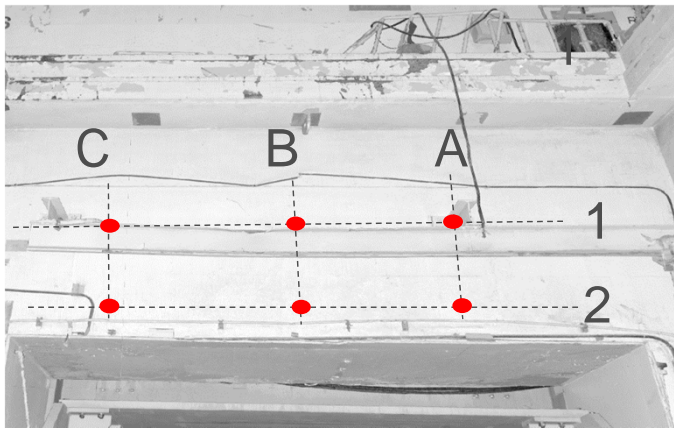
測定ポイント

ドライアイスブラスト除染前後の線量率の変化

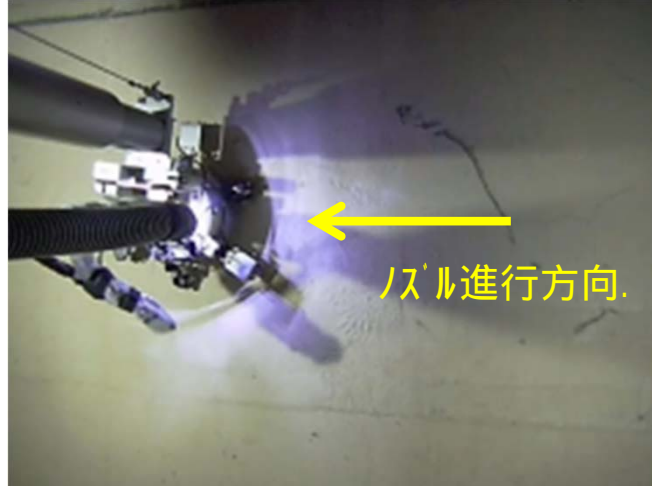
ポイント	+ 線量率( 線量率) (mSv/h)		γ線量率(mSv/h) :参考	
	除染前	除染後	除染前	除染後
A-1	20(9)	17(8)	10.5	9.5
A-2	17(7)	15(7)	10.3	8.2
B-1	22(11)	17(7)	10.9	10.0
B-2	18(7)	15(6)	10.9	8.7

## 2-7. ドライアイスブラスト除染の除染効果 ( 搬入口上部壁面 )

壁面の固着汚染に有効であることを確認した。ドライアイス除染は実施中にノズル詰まりが生じ、中断している。  
 DF評価値(除染前後の線量率で評価) : 2.4 ~ 3.6(ドライアイスブラスト) (除去率58% ~ 72%)  
 4.5 ~ 5.1(吸引+ドライアイスブラスト) (除去率78 ~ 80%)



測定ポイント



ノズル進行方向.

壁面へのドライアイスブラスト実施状況.

吸引・ドライアイスブラスト除染前後の線量率の変化

ポイント	+ 線量率(線量率) (mSv/h)			線量率 (mSv/h): 参考		
	除染前	吸引 除染後	ドライアイスブラスト 除染後	除染前	吸引 除染後	ドライアイスブラスト 除染後
A-1	41(31)	44(33)		10.2	11.3	
A-2	52(40)	34(22)		12.0	12.0	
B-1	55(45)	34(24)	17(10)	10.5	10.0	6.8
B-2	52(38)	57(45)		13.9	12.3	
C-1	56(46)	42(32)	16(9)	9.7	10.2	6.9
C-2	57(45)	38(26)		12.0	12.1	



## 3-1. ドライアイスブラスト高所除染装置実証結果まとめ

### ■ 除染作業実績

#### ● 除染面積

- ・ 上面 吸引 約 $0.1\text{m}^2/\text{日}$  × 4日
  - ・ 壁面吸引 約 $0.6\text{m}^2/\text{日}$  × 2日
  - ・ ドライアイスブラスト除染 約 $0.09\text{m}^2/\text{日}$  × 6日
- 合計約 $2.1\text{m}^2$  (参考: 3号機原子炉建屋1階天井面積約 $900\text{m}^2$ )

#### ● 除染ノズル寸法

- ・ 上面吸引用 : 直径100mm(外径)
- ・ 壁面吸引/ドライアイスブラスト除染用: 直径128mm(外径)
- ・ ドライアイス噴射開口部:  $21\text{mm} \times 1.5\text{mm}$  : ケーブルトレイ等

#### ● 除染作業期間: 2016/1/15 ~ 2016/2/20(実働12日間)

#### ● のべ作業時間: 19時間56分

#### ● 1日あたりの作業時間: 約2時間 (搬出入20~30分、建屋内移動約5分、上昇/下降約20分、除染40~60分)



上面吸引ノズル



ドライアイス噴射開口部

壁面吸引/ドライアイス  
ブラスト除染ノズル

### ■ 各機能のDF

- 吸引除染: DF 1.3 ~ 2.1
- ドライアイスブラスト除染: DF 1 ~ 3.6
- 吸引 + ドライアイスブラスト除染: DF 4.5 ~ 5.1

### ■ 評価

- 目標DF 5に対し、吸引 + ドライアイスブラストの組合せで達成。(除染性能を確認)
- 壁面の凹凸部分への適用など、課題はあるものの、今後の具体的な実機適用に向けた検討を継続。

# 参考. ドライアイスブラスト高所除染装置実証試験中のノズル詰まり事象について

## ■ ドライアイス噴射ノズル詰まり事象

- ドライアイスブラスト除染作業中にノズル詰まり発生、実証試験中に解消できず  
工場にて同型のドライアイスブラスト装置を用い、再現を試みたところ、ドライアイスブロックを粉状に削り出して、エアラインに供給する過程で詰まり発生。詰まりが発生した状況は以下の通り。

圧縮空気の流量減に伴うホッパー内ドライアイス粉の堆積

ホッパー内部の結露にドライアイス粉が付着し氷を形成

対策については検討中。

